

百花山国家级自然保护区褐马鸡 栖息地利用分析

宋 凯^① 宓春荣^② 赵玉泽^① 杨 南^③ 孙悦华^④ 徐基良^{①*}

① 北京林业大学自然保护区学院 北京 100083; ② 中国科学院大学 北京 100049; ③ 百花山国家级自然保护区
北京 102300; ④ 中国科学院动物研究所 北京 100101

摘要: 栖息地破坏是生物多样性丧失的主要原因之一,对濒危物种的生存也构成严重威胁。褐马鸡 (*Crossoptilon mantchuricum*) 作为我国特有珍稀濒危物种,目前仅分布于山西、陕西、河北和北京地区。2013年10月至2014年6月,在北京百花山国家级自然保护区使用样线法进行野外调查,使用存在点与伪不存在点数据,结合海拔、坡度、坡向、距道路距离、距居民点距离和植被类型作为变量,运用 CART、Random Forest、TreeNet 三个机器学习模型对褐马鸡的上述6种栖息地因子重要性排序,结果显示,海拔是影响褐马鸡分布的最主要因子,其次是植被类型、距道路距离和距居民点距离。根据 AUC 值选择 TreeNet 模型为最适宜模型,划分褐马鸡的适宜栖息地类型,并计算适宜面积。本研究有助于了解重点栖息因子对北京地区褐马鸡的影响状况,利于褐马鸡保护管理对策的制定。

关键词: 百花山国家级自然保护区; 褐马鸡; 重要栖息因子; 物种分布模型

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2016) 03-363-10

Modeling Habitat Factors and Suitability for the Brown Eared Pheasant (*Crossoptilon mantchuricum*) in Baihuashan National Nature Reserve, Beijing

SONG Kai^① MI Chun-Rong^② ZHAO Yu-Ze^① YANG Nan^③ SUN Yue-Hua^④ XU Ji-Liang^{①*}

① School of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083; ② University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049;
③ Baihuashan National Nature Reserve, Beijing 102300; ④ Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Abstract: Habitat destruction is the main reason for the loss of biodiversity, and it is a serious threat to the survival of endangered species. The brown eared pheasant (*Crossoptilon mantchuricum*) is an endangered species endemic to China. We applied three machine learning models (CART, Random Forest, TreeNet) to analyze the factors influencing the habitat suitability of this bird in Baihuashan National Nature Reserve, Beijing, China. The Baihuashan Mountain belongs to the Taihang Mountain with the altitude mostly between

基金项目 林业公益性行业科研专项 (No. 201404422), 北京市教育委员会科学研究与研究生培养共建项目 (No. 2012GJ01);

* 通讯作者, E-mail: xujiliang@bjfu.edu.cn;

第一作者介绍 宋凯, 男, 硕士研究生; 研究方向: 鸟类生态学, 保护生物学; E-mail: songkai2014@sina.com。

收稿日期: 2015-04-10, 修回日期: 2015-10-14 DOI: 10.13859/j.cjz.201603004

1 000 - 2 000 meters covered by different types of mountain forest and alpine meadows. During October 2013 to June 2014, we obtained 112 activity locations of the Brown Eared Pheasant, at 22 transect lines with the total length of 55.78 km (Fig. 1). We used six variables (altitude, slope gradient, slope aspect, vegetation type, distance to settlements, distance to roads) in our analyzed models. Our results show that altitude is the leading factor, followed by the factors of vegetation type and distances to the roads and settlements (Table 1). The TreeNet model, with the value of AUC (L/T, 0.960/0.937) being highest, is used to analyze the influencing patterns the six factors (Fig. 2, 3). The size of suitable habitat for the brown eared pheasant in the reserve is 67.98 km² of 217.43 km² the total size of the reserve according to the TreeNet model, the suitable area for the pheasant is only, only 31.27%. We expect our study can be useful as an example of successful model applying to the habitat management or population manipulation of the endangered species.

Key words: Baihuashan National Nature Reserve; Brown eared pheasant (*Crossoptilon mantchuricum*); Influencing factors; Machine learning models

栖息地（或生境，habitat）是能为物种生存或者繁殖使用的所有环境因素的总和（Block et al. 1993），可为动物提供资源、庇护所、筑巢位置和交配的场所（Reunanen et al. 2002）。栖息地破坏是生物多样性丧失的主要原因之一，并对濒危物种的生存构成严重威胁（Li 2005, Liu et al. 2009, Zhou et al. 2014）。通过对动物所利用栖息地的参数定性或者定量分析，可以深入理解动物生境参数的相互关系，并为科学制定相关保护政策或措施提供科学指导（赵青山等 2013）。因此，对濒危物种进行栖息地评价及数量评估，是生物多样性保护与管理的一项重要基础性工作。

鸟类栖息地是鸟类个体、种群或群落完成生活史某一阶段所需的环境类型，其是鸟类生态学研究的一个重要方面。褐马鸡（*Crossoptilon mantchuricum*）作为我国特有的国家 I 级重点保护野生动物，在国际上被列为濒危物种（IUCN 2014），目前仅分布于山西、陕西、河北和北京的局部地区（张龙胜 1999, Zhang et al. 2002）。目前，褐马鸡面临的主要威胁有栖息地破坏、过度捕猎、人类对其繁殖的干扰以及繁殖中的高死亡率（张正旺等 2000）。以往关于褐马鸡栖息地和种群密度的报道多集中于山西（张国钢等 2010）、陕西（Li et al. 2012）、河北（Li et al. 2008）地区，而北京地

区褐马鸡的资料仅限于区系调查（张晓辉等 2000）和 1998 年国家林业局组织的陆生野生动物资源调查。开展北京地区褐马鸡栖息地评估工作有助于当地褐马鸡种群的保护，以及完善对褐马鸡东部种群栖息地的认识。

百花山国家级自然保护区是北京地区褐马鸡分布比较集中的区域，通过评估保护区褐马鸡栖息地影响因子及适宜度，能够更深入地了解褐马鸡栖息地需求，掌握褐马鸡对栖息地影响因子的偏好并进行栖息地预测，进而指导对这一濒危物种的保护和管理。

1 研究方法

1.1 研究地点

北京百花山国家级自然保护区位于北京市门头沟区清水镇境内（图1），地理坐标为东经 115°25' ~ 115°42'，北纬 39°48' ~ 40°05'，总面积 217.43 km²，保护区地处太行山山脉、小五台山支脉向东延伸山地。本区大部分山地海拔在 1 000 ~ 2 000 m 之间，属于中纬度温带大陆性季风气候区，垂直变化明显，昼夜温差大，气温偏低，降水量较多，四季分明，冬季寒冷多风且干燥，夏季温热多雨，春季干旱，风沙盛行，秋季晴朗少风，寒暖适中，但雨量偏少，年降水量 450 ~ 720 mm。百花山原始天然植被应是典型暖温带落叶阔叶林，但由于长期人为

破坏, 原始植被已为次生植被替代 (朱华 1997)。由于山体相对高差大, 地形差异显著, 在植被的发育和次生演替上形成了植被类型的多样性和明显的植被分布的垂直带性 (许彬等 2006)。

1.2 数据收集

1.2.1 模型点获取

模型点包括褐马鸡活动点 (presence points) 和伪不存在点 (pseudo-absence points)。活动点通过野外样线调查获取。2013 年 10 月至 2014 年 6 月, 对百花山管理站、小龙门管理站、东灵山风景区、梨园岭和椴木沟区域进行野外调查, 样线按照约 1 km 间距 (0.65 ~ 1.45 km) 设置, 共设置样线 22 条, 总长度 55.78 km, 样线基本覆盖百花山自然保护区, 部分样线由于地形限制而沿小路及旅游道设置 (图 1)。在越冬期和繁殖期分别进行两次调查, 每条样线至少调查 4 次。根据褐马鸡活动习性, 调查时间为 7:00 ~ 11:00 时。褐马鸡活动点主要为褐马鸡实体和痕迹点的位点, 其中痕迹点主要包括粪便和刨痕较为密集的区域、雪后足迹以及鸣声出现点的位置。活动点利用手持 GPS 进行定位, 共获取褐马鸡

活动点 112 处。其中, 褐马鸡实体点 7 处, 粪便、刨痕密集点 81 处, 羽毛点 12 处, 鸣声点 8 处, 雪后痕迹点 2 处。由于受到多种因素影响, 物种分布数据会出现过于密集, 这些数据之间可能存在一定的空间自相关性, 从而影响模型的模拟精度 (吴伟伟等 2012)。根据褐马鸡的平均活动距离 (冯雪松 2007), 采用缓冲区分析的方法在每一个褐马鸡野外活动点周围建立直径为 300 m 的圆形区域, 对其活动点进行筛选, 对于缓冲区重叠的点只选择其中一个点作为样本点, 最终得到活动点 87 处, 模型运行时其中的 80% (58 个) 活动点作为训练数据 (training data), 20% (29 个) 活动点用作检验数据 (testing data)。伪不存在点是利用 GME (Geospatial Modeling Environment) 软件, 在研究区域内按照活动点个数的 100 倍, 随机生成的模型对照点, 共 11 200 个, 同时用 GME 软件生成间隔为 30 m 的背景点 (regular point)。

1.2.2 环境变量选择与数据收集

食物资源、隐蔽级以及人为干扰是褐马鸡栖息地选择的重要影响因子 (Li et al. 2009)。植被类型在不同季节对褐马鸡栖息地选择具有重要影响 (张国

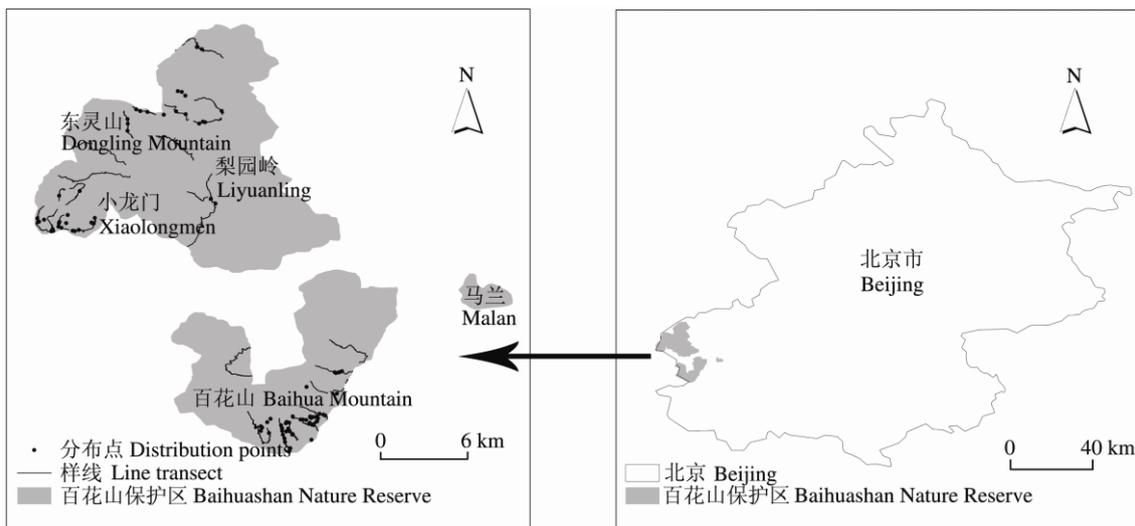


图1 北京百花山国家级自然保护区位置和调查样线及褐马鸡分布点

Fig. 1 Location of Baihuashan National Natural Reserve (Beijing, China) and the positions of the transects and localities of brown eared pheasant in the study area

钢等 2010), 已有研究还表明地形以及人为干扰等因子对褐马鸡的栖息地利用具有重要影响(张国钢等 2003, 李宏群等 2007, 张国钢等 2010)。因此, 结合环境因子的可获取性, 选取植被类型、海拔、坡度、坡向、居民点和道路 6 个重要栖息因子对百花山地区褐马鸡的栖息地进行模型分析。所有环境因子的分辨率均为 30 m × 30 m。

从中国科学院数据云 DEM 高程数据服务系统下载数字 30 m 分辨率高程图 (<http://www.gscloud.cn/>), 利用地理信息系统软件 (ArcGIS10.1) 提取坡度和坡向数据; 从中国生态系统与生态功能区划数据库 (<http://www.ecosystem.csdb.cn/>) 下载 30 m 分辨率的土地利用类型数据, 植被类型、居民点和道路数据利用 ArcGIS10.1 从土地利用类型图层中分离出, 通过 ArcGIS10.1 中 ArcToolbox 处理居民点和道路数据的欧氏距离图层。

1.3 模型建立与评估

为执行模型的运行, 用 GME 提取活动点、伪不存在点和背景点的环境变量数据 (Mi et al. 2014)。运用 CART、Random Forest、TreeNet 三个机器学习模型 (Salford predictive modeler 软件) 对百花山保护区褐马鸡的重点栖息因子

进行排序并具体分析。AUC (Area Under roc Curve) (Fielding et al. 1997) 是指 ROC (Receiver Operating Characteristic) 曲线下面面积的值, 其范围在 0 至 1 之间, 其值越大, 模型的模拟效果越好, 最大值 1 代表理论上的最准确模型, 是评估栖息地适宜性的预测精度, 选择最佳模型的指标。通过 AUC 值评价模型的精确性, 选出最优模型。模型预测结果是物种在保护区的适应性概率 (P), P 在 0 ~ 1 之间。模型模拟输出结果为物种存在概率栅格图, 值在 0 ~ 1 内, 值越接近 1 表示物种越可能存在。采用灵敏度 (sensitivity) 和特异度 (specificity) 之和最大时对应的物种存在概率值 P ($P = 0.34$) 作为阈值 (Manel et al. 2001), 将褐马鸡的潜在生境分为适宜生境 ($P > 0.34$) 和不适宜生境 ($P \leq 0.34$)。为进一步分析潜在生境的适宜度, 将褐马鸡适宜生境分为最适宜生境 ($P > 0.50$) 和中适宜生境 ($0.34 < P \leq 0.50$)。

2 结果

2.1 模型重要因子排列

由 CART、Random Forest、TreeNet 三种模型得到百花山保护区褐马鸡重点栖息地因子的重要性排序 (表 1), 其中海拔是影响褐马

表 1 三种模型预测百花山保护区对褐马鸡影响的重要因子排序

Table 1 The rank of the important habitat factors for brown-eared pheasant based on three models in Baihuashan Nature Reserve

变量 Variable	分类回归树 CART		随机森林 Random Forest		神经网络 TreeNet		平均 排名 Average ranking
	排名 Ranking	贡献率 Contribution rate	排名 Ranking	贡献率 Contribution rate	排名 Ranking	贡献率 Contribution rate	
海拔 Altitude	1	10	1	100	1	100	1
植被类型 landcover	2	38.94	2	25.28	6	28.67	3.33
道路 Road	3	36.27	4	12.08	3	68.04	3.33
居民点 Settlement	4	29.74	3	17.19	2	68.54	3.33
坡度 Slope	5	18.04	5	7.39	4	56.41	4.67
坡向 Aspect	6	9.80	6	6.08	5	54.08	5.67

鸡生存最重要的环境因子。根据三个模型的平均排序, 植被类型、距道路距离和距居民点距离对褐马鸡具有同样重要的影响。植被因素在 CART 模型和 Random Forest 模型中是仅次于海拔的第二重要影响因子; 在 TreeNet 模型中植被因素在 6 种环境因子中排最后, 居民点是第二影响因子。三种模型均显示出道路和居民点等人为干扰因素对褐马鸡的影响大于坡度和坡向, 坡度和坡向对褐马鸡的影响相对较弱, 但很稳定。根据最高 AUC 值 (L/T) 0.96/0.94 选择 TreeNet 模型为褐马鸡栖息地模型评估的最优模型进行进一步分析。

2.2 褐马鸡重要栖息地因子分析

从 TreeNet 模型可以得到海拔、居民点、道路、坡度和坡向等因子对褐马鸡分布的影响情况。图 2a 显示海拔是影响褐马鸡分布的最重要因子, 从海拔 950 m 至 1 400 m, 褐马鸡的分布与海拔成正比, 即随着海拔的升高, 褐马鸡的遇见率也越高; 从海拔 1 400 m 至 1 750 m, 是褐马鸡分布最多的区域, 其遇见率也最高; 海拔 1 750 m 以上褐马鸡的分布概率开始降低, 但是基本平稳。褐马鸡对距居民点 600 m 以内的地区偏好很低, 随着距离增加其偏好程度呈上升趋势, 至 2 000 m 以后开始减弱 (图 2b)。距离道路 500 m 至 2 100 m 区间和 2 700 m 之外的区域是褐马鸡偏好正相关区域, 其中, 褐马鸡最大偏好出现在 900 m 和 3 000 m 以上 (图 2c), 说明褐马鸡的分布受道路的影响较大。褐马鸡对坡度的偏好呈正相关的区域主要在坡度为 8°至 26°的区间 (图 2d); 对坡向的偏好呈正相关的部分主要在东南 (135°) 至西北 (335°) 的方向, 即更偏向在南坡活动 (图 2e)。由图 3 可以看出, 褐马鸡对植被类型的偏好为落叶阔叶林, 对针叶林、针阔混交林和落叶阔叶灌木偏好较弱, 说明本区域落叶阔叶林是褐马鸡的最适宜生境。

2.3 百花山国家级自然保护区褐马鸡适宜栖息地

根据 TreeNet 模型预测, 百花山国家级自

然保护区褐马鸡的适宜栖息地分布面积为 67.98 km², 占总研究面积的 31.27%, 其适宜生境分布在百花山林场、小龙门林场及东灵山和椴木沟区域。褐马鸡最适宜生境面积和中适宜生境的面积分别为 19.19 km² 和 48.79 km², 各占总研究面积的 8.83% 和 22.44%。

3 讨论

3.1 模型评价

物种分布模型是结合环境因子对物种存在及丰度进行评估的数值计算工具 (Elith et al. 2009)。其中, 机器学习模型基于可利用数据, 通过综合一系列非参数技术能力合成回归或者分类函数 (Garzón et al. 2006)。由于其操作简便和直观, 这种方法一直被用于栖息地评估 (李欣海等 2001, Li et al. 2002, Xu et al. 2006)。在利用环境数据评估栖息地适宜性时, 选用多个预测模型是非常重要的, 因为不同物种对于不同预测模型的反应大不相同 (Thuiller 2003)。我们选取 6 个重要环境因子对百花山保护区褐马鸡的栖息地因子进行分析, 在未考虑季节变化以及其他环境因子的情况下, 通过多个机器学习模型模拟栖息地适宜度, 能够客观地分析影响褐马鸡的重点栖息地因子选择及其变化趋势。

3.2 重要栖息地因子分析

栖息地评价展示动物对栖息地反应的强烈程度 (吴鹏举 2005)。依据栖息地因子评价结果可知, 由三种模型的平均因子排序, 百花山褐马鸡最重要的栖息地因子是海拔, 其次是距居民点距离、距道路距离和植被类型, 而植被类型在最优模型 TreeNet 中的影响是最弱的, 与山西 (张国钢等 2010)、陕西 (Li et al. 2012)、河北 (Li et al. 2008) 三个地区有一定的差异。

百花山保护区中, 海拔在褐马鸡栖息地因子选择中起决定性作用, 其分布范围是 950 ~ 2 000 m, 百花山保护区海拔范围是 800 ~ 2 300 m, 其分布区域基本覆盖了百花山的低中山带、中山带和高中山带。陕西黄龙山地区褐马鸡栖息

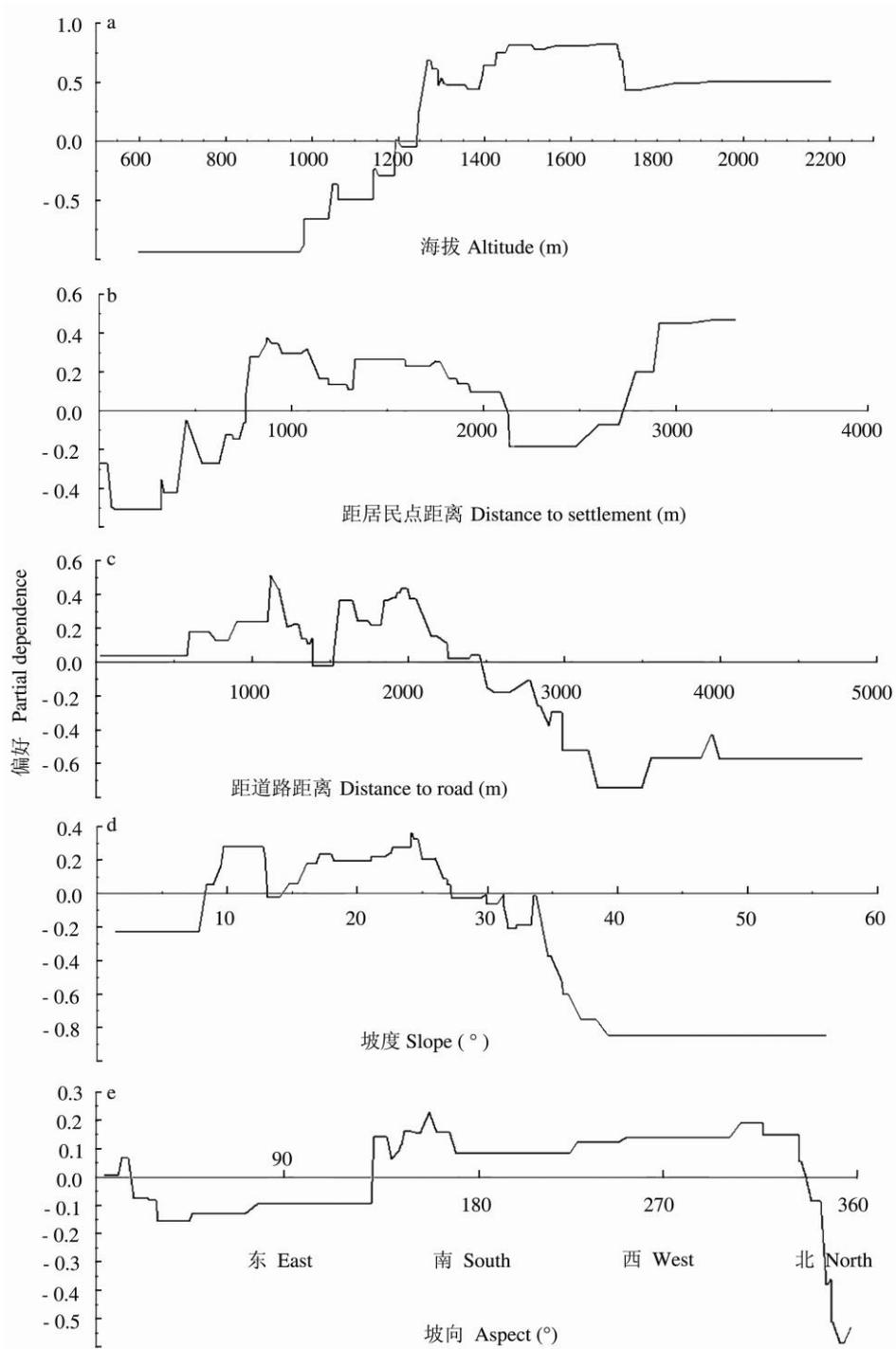


图 2 TreeNet 模型中褐马鸡对栖息因子的依赖曲线

Fig. 2 The partial dependence curve of brown-eared pheasant on habitat factors in the TreeNet model

a. 海拔; b. 距居民点距离; c. 距道路距离; d. 坡度; e. 坡向。

a. Attitude; b. Distance to settlement; c. Distance to road; d. Slope; e. Aspect.

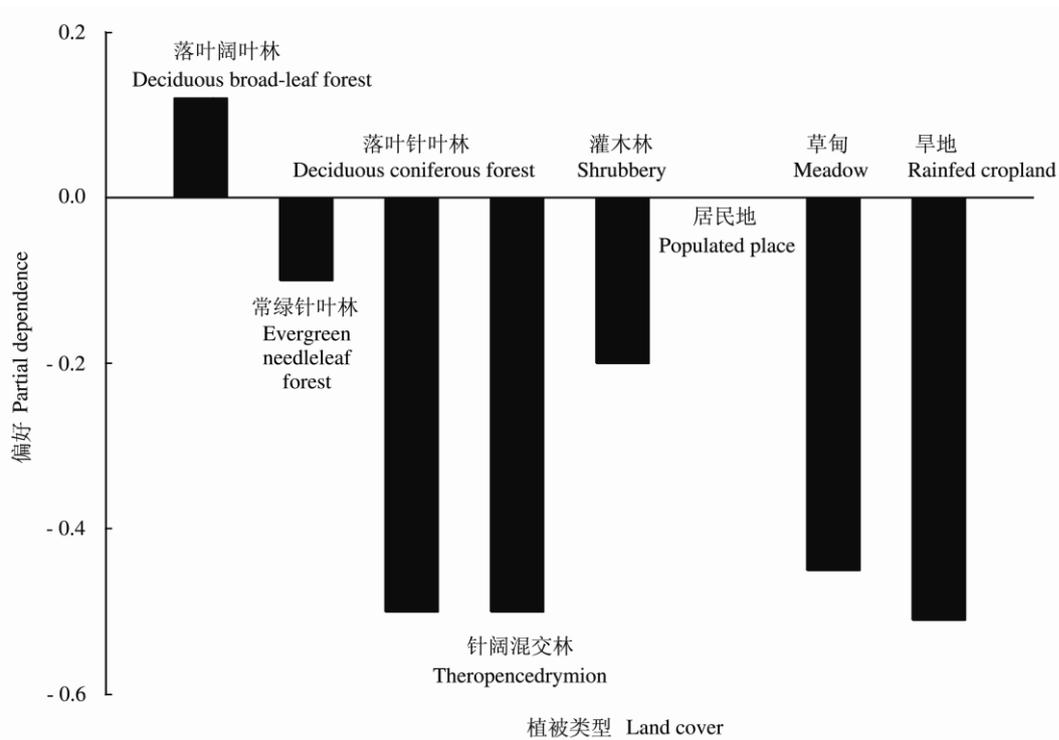


图 3 TreeNet 模型中褐马鸡对植被类型的依赖曲线

Fig. 3 The partial dependence curve of brown-eared pheasant on land cover in the TreeNet model

地分布范围是 1 150 m 至山顶地区 (Li et al. 2009), 河北与山西地区为 1 600 ~ 2 350 m 之间 (付玉明 2008), 这三个地区的褐马鸡在海拔上的分布范围有差异, 但都是各自区域的低中山带、中山带和高中山带, 这与褐马鸡在季节变化中为满足自身不同的生态需求和不同的行为特征而进行的垂直迁徙运动有关 (刘焕金等 1991, 张国钢等 2003), 另外与其垂直迁移坡向、植被类型联系在一起, 由阳坡阔叶林、林缘灌丛向阴坡针叶林的转移, 形成迁移的多维性。这种现象与北方大部分雉类的生态习性相似, 例如, 白颈长尾雉 (*Syrnaticus ellioti*) (丁平等 2002, 陈俊豪等 2011) 和白马鸡 (*Crossoptilon crossoptilon*) (格玛嘉措等 1999) 冬季向低海拔地区迁移。百花山高海拔区域为高山草甸, 明显不适合褐马鸡生存, 另外, 由于北京地区开发较早, 低海拔区域人口密集, 森林植被破坏严重, 亦不适合褐马鸡生

存, 因此海拔因子的作用得以凸显出来。

保护区内植被类型对褐马鸡栖息地的影响权重并不靠前, 与其他地区存在差异, 这可能与选择的模型评估方法有关。就褐马鸡对各植被因子的选择情况看, 各地区之间存在选择差异。在百花山, 褐马鸡偏好最高的为阔叶林, 其次是针叶林和针阔混交林, 这与其他观察地区的研究结果有所不同。如在庞泉沟国家级自然保护区褐马鸡喜好油松 (*Pinus tabulaeformis*) 林、华北落叶松 (*Larix principis-rupprechtii*) 林、油松-栎类林、落叶松-桦树 (*Betula*) 林、云杉 (*Picea asperata*) - 落叶松-山杨 (*Populus davidiana*) - 桦树林、辽东栎 (*Quercus wutaishansea*) 林、辽东栎-山杨林 (武建勇等 2000); 在山西五鹿山保护区褐马鸡越冬期对阔叶林具有明显的负选择性, 繁殖期对针叶林和针阔混交林的利用率有所减少 (张国钢等 2003); 在陕西黄龙山林区褐马鸡

春季觅食地偏好利用针阔混交林, 避免针叶林和阔叶林 (李宏群等 2007)。百花山地区可能是海拔相对较低, 林型多为阔叶林, 针叶林比例较少, 从而影响褐马鸡的栖息地选择。

人为干扰是影响种群密度和分布的重要因素之一 (Gill et al. 2001)。道路和居民点作为一种干扰因子, 对褐马鸡的栖息环境影响较大, 主要表现在地表土壤和植被的破坏以及噪声、污染物的影响等, 它所产生的生态环境变化在短期内是难以消除的 (张国钢等 2004)。这些影响包括道路致死、栖息地破碎化和丧失、群落结构和功能的变化、干扰、直接污染、物种入侵等 (Forman et al. 1998)。本研究区域内有国道、县道及部分居民点和旅游区分布, 且有道路穿过大片林区, 此种道路布局可能会造成褐马鸡栖息地的隔离。目前并未发现道路车辆对褐马鸡造成的直接死亡。但是, 道路车辆及人口流量的增加势必带来噪声、污染物及植被破坏等负面作用, 进而对褐马鸡栖息地的结构和功能产生影响。这些效应对生性警觉的褐马鸡生存的具体影响, 以及褐马鸡在这种环境中的适应能力, 有待进一步研究。

3.3 保护对策

合理判断动物对栖息地的反应, 对野生动物栖息地的适宜性作出评价, 进而提出保护策略, 是保护区管理者的重要目标。依据评估结果可知, 百花山国家级自然保护区内褐马鸡的栖息地质量并不理想, 当适宜生境的阈值定为较低的 0.34 时, 其适宜分布面积仅占到保护区面积的 31.27%。其原因可能是百花山保护区开发较早, 旅游客流量较大, 同时保护区的保护经费来源较少等, 这些都使得北京地区褐马鸡的保护面临更大的挑战。百花山国家级自然保护区作为北京地区褐马鸡分布的重点区域, 应加强对褐马鸡的保护和管理工作。建议 (1) 对褐马鸡适宜分布海拔范围内的阔叶林、针叶林区域要加强巡护与管理力度, 禁止在该区域挖野菜、打猎等人为干扰活动; (2) 保护区内道路较多, 应当采取措施减少车流量大带来的直

接污染, 包括噪音、污染物等; (3) 向当地居民和游客宣传褐马鸡及其他野生动植物的保护; (4) 在适宜区域植树造林, 增强褐马鸡栖息地的连接度, 为褐马鸡未来的扩散提供良好条件。

致谢 感谢李建强老师、樊乃卿和唐美庆在数据处理及采样过程中的帮助和建议。

参 考 文 献

- Block W M, Brennan L A. 1993. The habitat concept in ornithology // Power D M. *Current Ornithology*. US: Springer, 35–91.
- Elith J, Leathwick J R. 2009. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 40: 677–697.
- Fielding A H, Bell J F. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*, 24(1): 38–49.
- Forman R T T, Deblinger R D. 1998. The ecological road-effect zone for transportation planning and Massachusetts highway example // *Proceedings of International Conference on Wildlife Ecology and Transportation*. Fort Myers, Florida: ICOWET, 78–83.
- Garzón M B, Blazek R, Neteler M, et al. 2006. Predicting habitat suitability with machine learning models: the potential area of *Pinus sylvestris* L. in the Iberian Peninsula. *Ecological Modelling*, 197(3/4): 383–393.
- Gill J A, Norris K, Sutherland W J. 2001. The effects of disturbance on habitat use by black-tailed godwits *Limosa limosa*. *Journal of Applied Ecology*, 38(4): 846–856.
- IUCN. 2014. The IUCN Red list of Threatened Species™. Version 2014.1[EB/OL].[2015-04-10]. <http://www.iucnredlist.org>.
- Li D M, Gao S P, Wu Y F, et al. 2008. Model to assess the habitat suitability for endangered bird species: Brown Eared Pheasant *Crossoptilon mantchuricum* swinhoe in Xiaowutaishan Reserve, China. *Polish Journal of Ecology*, 56(4): 723–729.
- Li H Q, Lian Z M, Chen C G. 2009. Winter foraging habitat selection

- of brown-eared pheasant (*Crossoptilon mantchuricum*) and the common pheasant (*Phasianus colchicus*) in Huanglong Mountains, Shaanxi Province. *Acta Ecologica Sinica*, 29(6): 335–340.
- Li H Q, Yue B S, Lian Z M, et al. 2012. Modeling spring habitat requirements of the endangered Brown Eared Pheasant *Crossoptilon mantchuricum* in the Huanglong Mountains, Shaanxi Province, China. *Zoological Science*, 29(9): 593–598.
- Li X H, Li D M, Li Y M, et al. 2002. Habitat evaluation for Crested ibis: A GIS-based approach. *Ecological Research*, 17(5): 565–573.
- Li Y M, Wilcove D S. 2005. Threats to vertebrate species in China and the United States. *BioScience*, 55(2): 147–153.
- Liu Z J, Ren B P, Wu R D, et al. 2009. The effect of landscape features on population genetic structure in Yunnan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) implies an anthropogenic genetic discontinuity. *Molecular Ecology*, 18(18): 3831–3846.
- Manel S, Williams H C, Ormerod S J. 2001. Evaluating presence-absence models in ecology: the need to account for prevalence. *Journal of Applied Ecology*, 38(5): 921–931.
- Mi C R, Huettmann F, Guo Y M. 2014. Obtaining the best possible predictions of habitat selection for wintering Great Bustards in Cangzhou, Hebei Province with rapid machine learning analysis. *Chinese Science Bulletin*, 59(32): 4323–4331.
- Reunanen P, Nikula A, Mönkkönen M, et al. 2002. Predicting occupancy for the Siberian flying squirrel in old-growth forest patches. *Ecological Applications*, 12(4): 1188–1198.
- Thuiller W. 2003. BIOMOD—optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. *Global Change Biology*, 9(10): 1353–1362.
- Xu W H, Ouyang Z Y, Viña A, et al. 2006. Designing a conservation plan for protecting the habitat for giant pandas in the Qionglai mountain range, China. *Diversity and Distributions*, 12(5): 610–619.
- Zhang Z W, Zheng G M, Zhang G G, et al. 2002. Distribution and Population Status of Brown Eared-pheasant in China. UK: World Pheasant Association, 91–96.
- Zhou C F, Xu J L, Zhang Z W. 2014. Dramatic decline of the vulnerable Reeves's pheasant *Syrnaticus reevesii*, endemic to central China. *Oryx*, 49(3): 529–534.
- 陈俊豪, 黄晓凤, 鲁长虎, 等. 2011. 官山保护区白颈长尾雉栖息地适宜性评价. *生态学报*, 31(10): 2776–2787.
- 丁平, 李智, 姜仕仁, 等. 2002. 白颈长尾雉栖息地小区利用度影响因子研究. *浙江大学学报: 理学版*, 29(1): 103–108.
- 冯雪松. 2007. 褐马鸡 (*Crossoptilon mantchuricum*) 的活动区与扩散行为研究. 北京: 北京师范大学硕士学位论文, 22–23.
- 付玉明. 2008. 褐马鸡保护遗传学研究. 石家庄: 河北师范大学硕士学位论文, 14–15.
- 格玛嘉措, 董德福, 龙文祥. 1999. 白马鸡生态习性的初步观察. *动物学杂志*, 34(1): 26–28.
- 李宏群, 廉振民, 陈存根, 等. 2007. 陕西黄龙山林区褐马鸡春季觅食地选择. *动物学杂志*, 42(3): 61–67.
- 李欣海, 马志军, 李典谟, 等. 2001. 应用资源选择函数研究朱鹮的巢址选择. *生物多样性*, 9(4): 352–358.
- 刘焕金, 苏化龙, 申守义, 等. 1991. 山西庞泉沟自然保护区褐马鸡种群数量特征的研究. *动物学报*, 37(1): 30–35.
- 吴鹏举. 2005. 西藏慈巴沟国家级自然保护区主要偶蹄类动物现状、栖息地和保护研究. 上海: 华东师范大学博士学位论文, 28–30.
- 吴伟伟, 顾莎莎, 吴军, 等. 2012. 气候变化对我国丹顶鹤繁殖地分布的影响. *生态与农村环境学报*, 28(3): 243–248.
- 武建勇, 任班莲, 张凤仙. 2000. 庞泉沟国家级自然保护区褐马鸡栖息地保护 // 中国鸟类学会, 台北市野鸟学会, 中国野生动物保护协会. 中国鸟类学研究——第四届海峡两岸鸟类学术研讨会文集. 北京: 中国林业出版社, 34–37.
- 许彬, 张金屯, 杨洪晓, 等. 2006. 京西百花山植物群落数量分析. *北京师范大学学报: 自然科学版*, 42(1): 90–94.
- 张国钢, 张正旺, 杨凤英, 等. 2010. 山西五鹿山自然保护区褐马鸡栖息地的选择. *林业科学*, 46(11): 100–103.
- 张国钢, 张正旺, 郑光美, 等. 2003. 山西五鹿山褐马鸡不同季节的空间分布与栖息地选择研究. *生物多样性*, 11(4): 303–308.
- 张国钢, 郑光美, 张正旺. 2004. 铁矿开采对褐马鸡种群的影响. *生物多样性*, 12(3): 319–323.
- 张龙胜. 1999. 褐马鸡的分布现状. *野生动物*, 20(2): 18.

- 张晓辉, 张正旺, 宋杰, 等. 2000. 北京东灵山地区春夏季鸟类群落研究. 北京师范大学学报: 自然科学版, 36(5): 677-682.
- 张正旺, 张国钢, 宋杰. 2000. 褐马鸡的种群现状与保护对策 // 中国鸟类学会, 台北市野鸟学会, 中国野生动物保护协会. 中国鸟类学研究——第四届海峡两岸鸟类学术研讨会文集. 北京: 中国林业出版社, 50-53.
- 赵青山, 楼瑛强, 孙悦华. 2013. 动物栖息地选择评估的常用统计方法. 动物学杂志, 48(5): 732-741.
- 朱华. 1997. 北京百花山大阴坡植被垂直分带方法的探讨. 北京林业大学学报, 19(4): 59-63.